

MEJORES SITIOS PARA GRANJAS EÓLICAS EN ARGENTINA, CENTRO Y SUR DEL PAÍS.

Fernando Tilca

INENCO – Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150. (4400) Salta. Argentina.

E-mail: tilcaf@gmail.com. Tel: 54-387- 4255424.

RESUMEN. El objetivo de este artículo es presentar las mejores zonas para la instalación de granjas eólicas en cada región del país, desde zona centro-este hasta el extremo sur. Para ello en primer lugar se trabaja con un sitio en particular para el cual se dispone de datos medidos, con los que se determina la producción anual de energía de una granja eólica, el factor de capacidad para las probabilidades de excedencias P50 y P75, y se muestra cómo se estimará este factor en las áreas escogidas. Los resultados obtenidos son el factor de capacidad y la velocidad media anual del viento a una altura de 67 m sobre el suelo (ambos promedios del área analizada) de los mejores sitios de varias regiones del país y el porcentaje del aporte de energía eléctrica respecto del total que puede obtenerse de cada uno de estos sitios para un tamaño de granja eólica.

Palabras clave: eólica, granjas eólicas, energía eólica.

INTRODUCCIÓN.

El antecedente, y herramienta, más útil en el tema es el Mapa Eólico Nacional [1]. Para este trabajo se ha utilizado el dato de la velocidad del viento media anual en cada sitio analizado, provisto por el mapa eólico. Los principales antecedentes existentes en el tema los hay en el programa GENREN y en conferencias dadas por expertos en el tema [2]. Otros actores públicos y privados tienen datos de lugares específicos, de velocidad y dirección de viento y de otras variables meteorológicas (temperatura, presión), que les permiten calcular la Producción Anual de Energía (PAE) esperada, factor de capacidad, etc, como consecuencia de haber medido efectivamente en esos lugares.

En primer lugar se realiza el diseño de una granja eólica, cumpliendo con los siguientes pasos: tratamiento de datos con el programa Windographer; diseño de la granja de 50 MW instalados con el programa WAsP, utilizando los datos tratados anteriormente, mapas de topografía y rugosidad, hasta la determinación de la Producción Anual de Energía (PAE); luego se determina el Factor de Capacidad (Fc) para las probabilidades de excedencias P50 y P75.

Posteriormente se determina la calidad del ajuste del Fc con el calculado de la expresión deducida y verificada con valores de este factor de parques eólicos de nuestro país y de otros países de Sudamérica [3].

Luego, mediante la utilización del Mapa Eólico Nacional se determinan los lugares con mayores velocidades media del viento desde zona centro-oeste hasta el extremo sur de la provincia de Tierra del Fuego, en las cuales se determinará el Fc medio de cada una de ellas, el área comprendida, la PAE y el porcentaje de energía posible de extraer de cada una de las zonas analizadas respecto de la demanda total de energía eléctrica de nuestro país del año 2010.

TRATAMIENTO DE DATOS.

Para realizar el diseño de una granja eólica, es conveniente realizar un tratamiento al conjunto de datos crudos de viento disponible, a fin de eliminar datos erróneos originados por diversas causas tales como por ejemplo el congelamiento de los sensores de velocidad o dirección, o rellenar los faltantes o vacíos en el conjunto de datos que pudieran haber.

Se cuenta con un conjunto de datos medidos de tres años, con un paso de tiempo de 10 minutos, de una zona del sud-este de Chubut, cuyas coordenadas son: Latitud de -44.93° y Longitud de -66.9° . Las mediciones son velocidad, dirección y desvío estándar del viento a 10 y 40 m respectivamente. La Figura 1 muestra el gráfico de dispersión de todos los sectores entre las velocidades del viento a las dos alturas, con la recta de mejor ajuste. La Figura 2 muestra el perfil vertical del viento, rosa de frecuencias de la velocidad del viento y un resumen con los valores de parámetros del sitio.

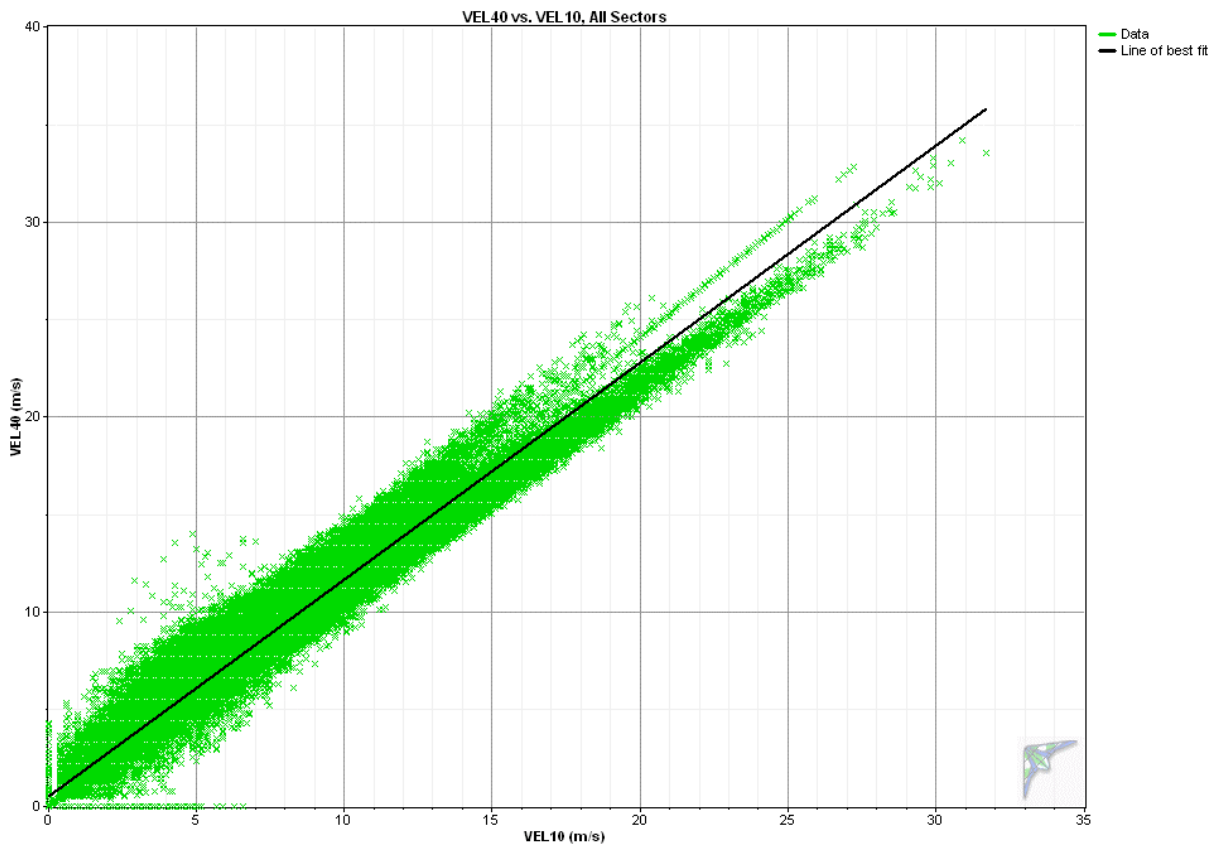


Figura 1: Gráfico de dispersión entre las velocidades del viento medidas a 40 m y a 10 m.

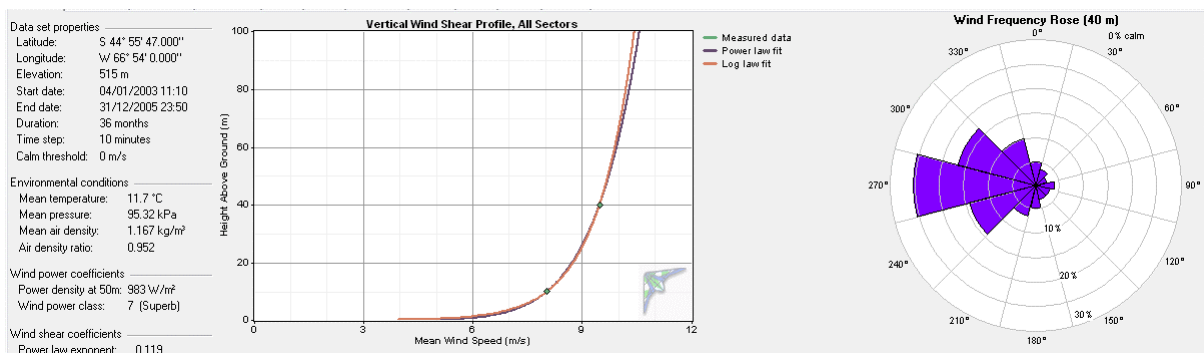


Figura 2: Perfil vertical de viento (Wind shear), rosa de frecuencias y otros parámetros del lugar y del conjunto de datos.

Hecho el tratamiento de datos, éstos se exportan para su utilización por el programa con el que se realizará el diseño del parque eólico.

CÁLCULO DE LA PAE DE LA GRANJA.

Con los datos exportados del programa anterior y mapas de topografía y rugosidad del terreno, se realiza el diseño del parque eólico. El programa primero realiza un mapeo de viento de la zona, luego para determinar la mejor ubicación de cada molino se calcula una grilla con la velocidad del viento a una altura de 67 m. Se eligió esta altura entre otros motivos porque varias marcas de molinos de potencia nominal del orden de los 2 MW utilizan ésta como una de dos o tres alturas por defecto para sus torres.

Se realiza el cálculo, y luego de varias reubicaciones de algunos molinos con el fin de obtener una mejor producción, finalmente se ubicarán como indica la Figura 3, en la que se muestra en forma cualitativa también la PAE por cada sector, siendo evidente del gráfico la preponderancia del sector Oeste, dirección principal del viento de la zona. En la parte inferior derecha de la figura se indica la escala de la energía del viento en unidades de GWh.

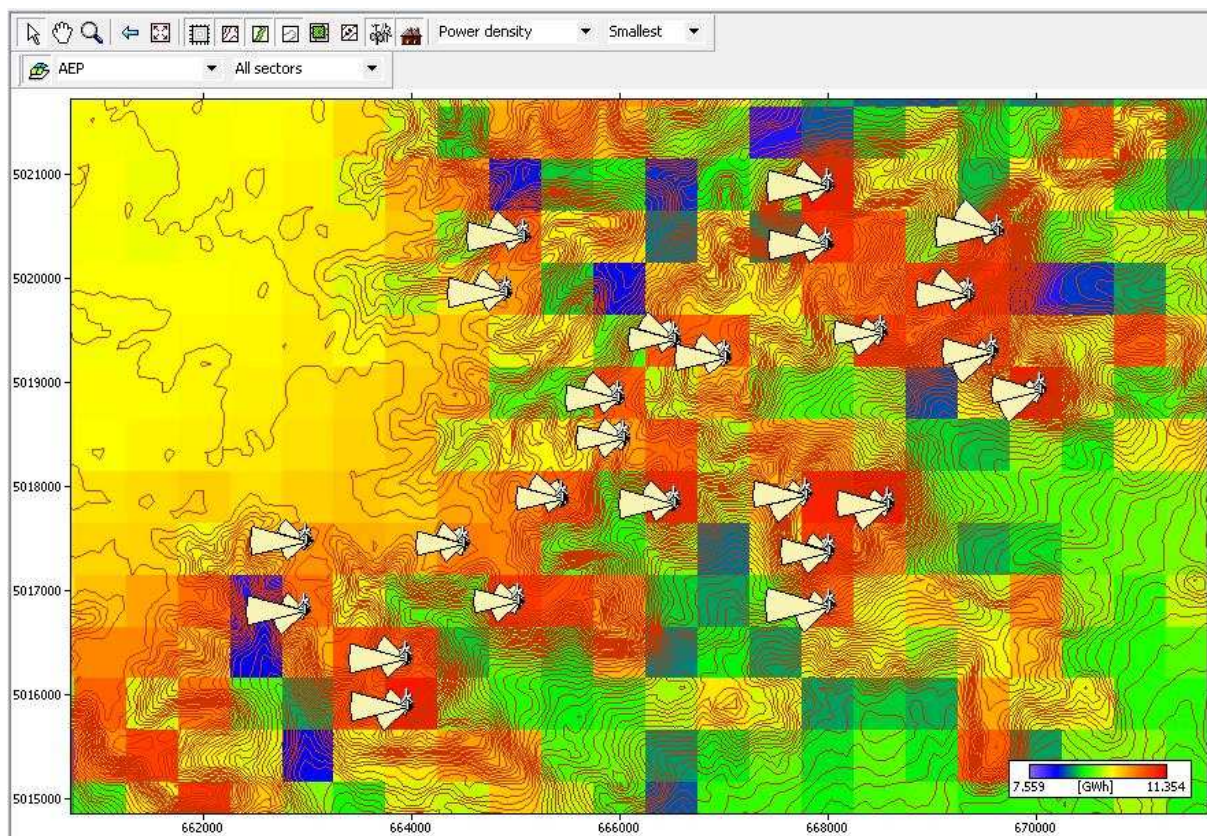


Figura 3: Ubicación de los 25 molinos de 2 MW cada uno, y vista cualitativa de la generación por sector.

Los molinos son de 2 MW de potencia nominal y 67 m de altura del eje. El molino utilizado en este caso (Vestas V80 2 MW) tiene velocidad nominal de 14 m/s. Se obtiene la producción de energía indicada en la Tabla 1.

Tabla 1: Producción Anual de Energía bruta y neta del parque eólico.

Settings Site list Statistics WF Power curve				
Variable	Total	Mean	Min	Max
Total gross AEP [GWh]	271.182	10.847	10.338	11.410
Total net AEP [GWh]	267.729	10.709	10.262	11.255
Proportional wake loss [%]	1.27	-	0.48	2.2
Mean speed [m/s]	-	11.79	10.88	13.81
Power density [W/m2]	-	1863	1434	3045
RIX	-	-	1.5	7.9

Posteriormente se calcula P50 y P75. Recordemos que P50 ya tiene en cuenta las pérdidas de energía, y que por las incertidumbres hay tantas probabilidades de obtener más como de obtener menos que la indicada; en igual sentido P75 indica que hay el 75 % de probabilidades de obtener más energía que la indicada.

CÁLCULO DE P50 Y P75

Se han considerado pérdidas técnicas de 7,5%, incertidumbres debido a medición del viento de 4,74%, e incertidumbres por cálculo de generación de energía del 8,92%. El Factor de capacidad para P50 que se obtiene es de 0,583.

Tabla 2: PAE y Factor de capacidad según P50, P75 y P90.

Energía del Parque	[MWh]	Factor de Capacidad
PAE	271182	61.91%
Neta P50	250843	58.27%
Neta P75	235858	53.85%
Neta P90	222215	50.73%

La expresión –mencionada más arriba, obtenida por el autor, tesis doctoral- para estimar el factor de capacidad que tiene en cuenta el cociente entre la velocidad media anual del viento del lugar y la velocidad nominal del molino escogido, es la siguiente:

$$F_c = 0.9 \cdot F_{c^*} = 0.9 \cdot [0,6891 (V_{\text{prom}}/V_{\text{nom}})^3 - 0,9856 (V_{\text{prom}}/V_{\text{nom}})^2 + 1,4285 (V_{\text{prom}}/V_{\text{nom}}) - 0,257] \quad (1)$$

En el caso de este parque eólico, la velocidad media es 11.79 m/s (Tabla 1), la velocidad nominal de los molinos es 14 m/s, reemplazando en la ecuación (1) se obtiene $F_c = 0.59$.

El Factor de capacidad obtenido mediante la ecuación (1) sólo tiene en cuenta las pérdidas pero no las incertidumbres, por lo que es equivalente al Factor de capacidad correspondiente a P50, cuyo valor es 0.583 (Tabla 2). Se muestra el buen ajuste al comparar, para el caso P50, el factor de capacidad obtenido mediante la ecuación (1), con el obtenido del diseño de la granja eólica a partir de los datos medidos.

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE MAYOR VELOCIDAD DE VIENTO.

Para la elección de las mejores zonas por región para el aprovechamiento de la energía del viento, desde el centro – este hasta el extremo sur del país, se han utilizado los datos de velocidad media anual del viento del Mapa Eólico Nacional. Estas zonas se han elegido (únicamente) en función del contenido de energía eólica del lugar, sin considerar un aspecto importante en la decisión de la construcción de parques eólicos, que es la existencia de líneas eléctricas con capacidad suficiente como para recibir la inyección de grandes cantidades de potencia eléctrica provenientes de una fuente con las características del viento y si los terrenos son públicos o privados.

Para todos los sitios escogidos la velocidad media anual del viento se toma a una altura de 67 m sobre el suelo, y una velocidad nominal del aerogenerador de 13 m/s.

Se determina el promedio anual de la velocidad del viento de cada sitio considerando varios puntos del lugar y el área en km². Luego se calcula el Factor de capacidad con la expresión (1), que será el factor de capacidad promedio del lugar para toda el área involucrada.

En Figura 4 se muestran los sitios de las provincias de Buenos Aires, Río Negro y parte de Chubut; en Figura 5, parte de las provincias de Chubut y Santa Cruz; y en Figura 6 parte de Santa Cruz y provincia de Tierra del Fuego.

Una aclaración respecto a la provincia de Santa Cruz: la mayor parte de su territorio tiene velocidades de viento suficientemente altas para la instalación de granjas eólicas, aquí se resaltan aquellas zonas que tienen mayor velocidad de viento. Lo mismo para provincia de Chubut desde el centro hacia el sur.

En Tabla 3 se muestra el nombre de cada sitio; velocidad media anual del viento a 67 m de altura sobre el suelo; valor del Factor de capacidad calculado con la expresión (1), que es el factor de capacidad estimado para la probabilidad de excedencia P50; Producción Anual de Energía por cada parque de 1 GW instalado en el lugar y porcentaje que representa respecto al consumo total de energía eléctrica del país, considerado de 120000 GWh/año. Este valor resulta a partir de proyecciones realizadas de los datos de consumo de energía eléctrica del país de años anteriores publicadas por CAMMESA [4]. Se muestran también las coordenadas de latitud y longitud del área de estudio.

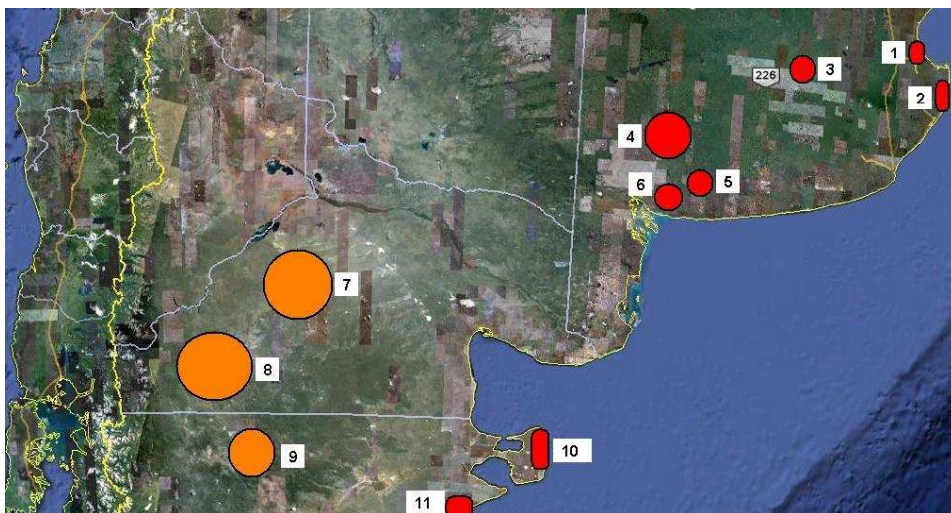


Figura 4: Sitios con mayor velocidad de viento de las provincias de Buenos Aires, Santa Cruz y parte de Chubut.

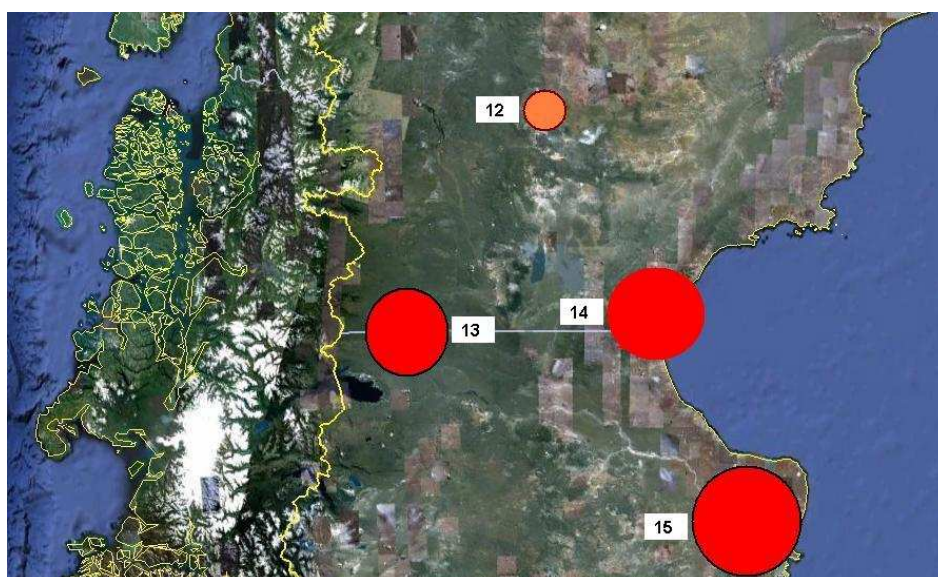


Figura 5: Sitios con mayor velocidad de viento de parte de las provincias de Chubut y Santa Cruz.



Figura 6: Sitios con mayor velocidad de viento de Tierra del fuego y de parte de la provincia de Santa Cruz.

TABLA 3: Valores calculados para cada uno de los sitios.

Sitio	Latitud Sur Longitud Oeste	Área [km ²]	V _{prom}	$\frac{V_{prom}}{V_{nom}}$	Fc* (%)	Fc P50	GWH/año por cada GW. (P50)	% del Total
1. Buenos Aires, Cerro de la Gloria	35.9° a 36.1° 57.34° a 57.52°	370	9.61	0.7390	53.85	48	4245	3.5
2. Buenos Aires, Mar de Ajó	36.7° a 37° Costa a 56.8°	500	10.10	0.7767	58.09	52	4579	3.8
3. Buenos Aires, Cachari	36.4° a 36.7° 59.3° a 59.7°	900	10.00	0.7692	57.23	52	4512	3.8
4. Buenos Aires, Arroyo Corto	37.3° a 37.76° 62° a 62.54°	1500	9.63	0.7408	54.05	49	4261	3.6
5. Buenos Aires, El Divisorio	38.25° a 38.51° 61.4° a 61.64°	770	10.53	0.8103	62.00	56	4888	4.1
6. Buenos Aires, Bahía Blanca	38.36° a 38.7° 61.95° a 62.34°	930	10.16	0.7818	58.67	53	4625	3.9
7. Río Negro, El Cuy	39.65° a 40.61° 67.81° a 69.05°	8600	9.77	0.7518	55.27	50	4357	3.6
8. Río Negro, Pilcaniyeu	41.1° a 41.8° 69.82° a 70.75°	3700	9.54	0.7338	53.29	48	4201	3.5
9. Chubut, Gastre	42.32° a 42.88° 69° a 69.7°	1800	9.79	0.7531	55.41	50	4369	3.6
10. Chubut, Península Valdez	42.17° a 42.58° 63.64° a 63.95°	2600	9.52	0.7319	53.08	48	4184	3.5
11. Chubut, Trelew	43.13° a 43.86° 65.08° a 65.53°	2450	9.02	0.6936	48.96	44	3860	3.2
12. Chubut, Paso de Indios	43.6° a 44.16° 68.44° a 69.17°	1230	9.58	0.7365	53.58	48	4224	3.5
13. Santa Cruz, Perito Moreno	45.5° a 46.5° 70.5° a 71.7°	7000	11.82	0.9092	74.50	67	5874	4.9
14. Chubut, Comodoro Riv.	44.5° a 46.5° 67° a 68.7°	24000	11.02	0.8475	66.52	60	5245	4.4
15. Santa Cruz, Puerto Deseado	47° a 48° Costa a 67°	3000	10.95	0.8425	65.90	59	5196	4.3
16. Santa Cruz, Gov. Gregores	48° a 49.3° 69.2° a 71°	3800	10.28	0.7904	59.66	54	4704	3.9
17. Santa Cruz, San Julián	49° a 50° Costa a 68.7°	3300	10.72	0.8242	63.67	57	5020	4.2
18. Santa Cruz, Río Gallegos	51.2° a Costa sur Costa Atl. a 70°	3300	10.66	0.8203	63.19	57	4982	4.2
19. Tierra del Fuego	54.7° a Costa sur Costa Atl. a 68.2°	2400	10.17	0.7822	58.71	53	4629	3.9

CONCLUSIONES.

Se han determinado las mejores zonas para la instalación de granjas eólicas en cada región del país, desde zona centro-este hasta el extremo sur, en función de la velocidad media anual del viento a 67 metros del suelo. Respecto a la densidad del aire, su influencia relativa es baja debido a que no son sitios de altitud considerable. Se ha calculado para cada uno de los lugares analizados, el valor del Factor de Capacidad promedio para la probabilidad de excedencia P50 del área, el valor aproximado en km² de esta área y la Producción Anual de Energía que generaría un parque eólico.

En la elección de los lugares analizados, no se consideró la existencia o no de líneas eléctricas con la capacidad suficiente como para recibir grandes cantidades de potencia eléctrica provenientes de parques eólicos, tampoco si los terrenos son públicos o privados.

El Factor de Capacidad obtenido para cada una de las áreas analizadas, para una probabilidad de excedencia P50, tiene valores de entre 44% y 67% de los sitios analizados. Son valores altos, acordes a las velocidades de viento de los lugares analizados. Esto indica que el aprovechamiento de esta fuente de energía, es potencialmente muy alto.

Probablemente el planeamiento del desarrollo de un plan de aprovechamiento eólico debería tener muy en cuenta a estas zonas, ya que podrían ser las mejores desde el punto de vista energético. En la planificación del tendido de redes eléctricas de alta tensión para recibir energía eléctrica generada por granjas eólicas, es probable que también resulte de interés tener en cuenta estos sitios, en la decisión de su trazado.

REFERENCIAS

- [1] www.sigeolico.com.ar
- [2] Aplicaciones eólicas en escala de potencia y sistemas híbridos. Héctor Fernando Mattio. 2010.
- [3] Tesis doctoral, Fernando Tilca, Biblioteca del INENCO, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.
- [4] www.cammesa.com.

ABSTRACT.

The purpose of this article is to present the best zones for the installation of wind farms in each region of the country, from the mid-east to the extreme south. To achieve this goal, the study begins with a particular spot for which measured data are available, thereby determining a wind farms's annual energy production, the capacity factor for the excedence probabilities P50 y P75, and an indication of how this factor will be estimated for the chosen areas. The results obtained are (a) the capacity factor and the annual mean speed at 67m above ground level (both mean values for the area under analysis) for the best spots in various regions of the country; and (b) the percentage of electric power generation in relation to the total which can be obtained from each one of those spots for a given size wind farm.

Keywords: wind, wind farms, wind power.